Münster 1936 No 112 Med DiSS

Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie Dortmund
Direktor: Professor Dr. E. Atzler

Versuche zur Ermittlung der für die respiratorische Funktion der menschlichen Nase bestimmenden Größen.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
einer
Hohen medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster i.W.

vorgelegt von

Erich Hatzmann
aus Dortmund

Buch- und Kunstdruckerei Wilh. Postberg, Bottrop i.W.
1936

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (Westfalen).

Dekan: Prof. Dr. K. W. Jötten.
Berichterstatter: Prof. Dr. R. Rosemann.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

A. Einleitung.

Die Nase hat als Anfangsteil des Atmungsweges die physiologische Aufgabe, die Lunge vor Schädigungen zu schützen. Allgemein wird der Nase die Aufgabe zugeschrieben, die eingeatmete Luft zu erwärmen, anzufeuchten und von Staub zu befreien. Als Riechorgan kommt beim Menschen nur die Regio olfactoria in Betracht, eine Fläche von etwa 500 qmm im oberen Teil der Nasenscheidewand und der Mitte der oberen Muschel. (Zwaardemaker.) (21) Dagegen dient der andere Teil der Nasenschleimhaut als Regio respiratoria den übrigen Funktionen. Der komplizierte Bau des Naseninnern, der keinesfalls etwa durch die Hinleitung eines Teilstromes der eingeatmeten Luft zur Regio olfactoria eine ausreichende Erklärung findet, dürfte mit den erwähnten Aufgaben der Nase im engstem Zusammenhang stehen, ohne daß aber über diese ganz allgemeine Feststellung hinaus bis heute hierüber Einzelnes bekannt wäre.

Untersuchungen über die Erwärmung der Atemluft sind wiederholt ausgeführt worden. Es hat sich aber aus den Messungen bisher kein einheitliches Bild ergeben. Die Erwärmung der durch die Nase strömenden Luft ist naturgemäß abhängig von der Temperatur der Außenluft. Aschenbrandt (1) und Lautenschläger (12) nehmen an, daß der Kältereiz und ebenso der mechanische Reiz durch den Luftstrom die Nasenmuscheln abschwellen läßt und durch die Gefäßverengerung auch die Wärmeabgabe herabsetzt. Eine solche Reaktion wäre sinnwidrig, da doch offenbar bei kalter Außenluft die Erwärmung notwendiger ist und verstärkt werden muß.

Tatsächlich hat Mink (17) durch seine Untersuchungen feststellen können, daß im Gegenteil sowohl bei mechanischer Berührung wie unter Einwirkung eines Kältereizes eine Gefäßerweiterung eintritt.

Hellmann (6) zeigt in seiner „Temperaturkarte" der Nase, daß vom Naseneingang an die Temperatur der Atmungsluft ansteigt und daß in der mittleren Muschel die Wärme ihren höchsten Grad von 29.8°, bei einer Außenluft von 21.7°, erreicht. Dann scheint die Temperatur kaum mehr zu steigen. Im Nasenrachen-

raum wird sie höchstens um einige zehntel Grade höher gefunden. Nach Untersuchungen von Perwitzschky (19) hat die Luft nach dem Passieren der Nase im Nasenrachenraum eine Temperatur von 32°.

Auch hinsichtlich der Verdunstung von Wasser ist noch keine Übereinstimmung erzielt worden.

Aschenbrandt (1) und Kayser (7) nehmen an, daß die eingeatmete Luft ihrer Temperatur entsprechend schon in der Nase völlig mit Wasserdampf gesättigt ist. Da nach ihnen auch eine Erwärmung der Luft bis auf Körpertemperatur erfolgt, so folgern sie daraus, daß eine Wasserabgabe von seiten der Lunge nicht mehr stattfindet. Die Versuchsergebnisse Blochs (2), die von Hellmann (6) bestätigt wurden, ergaben jedoch nur eine $^2/_3$-Sättigung der Inspirationsluft mit Wasserdampf in der Nase. Perwitzschky (19) stellte fest, daß die Inspirationsluft bis zu 79 % gesättigt in den Nasenrachenraum gelangt. Die Möglichkeit relativ weitgehender individueller Unterschiede der genannten Funktionen auch bei gesunden Nasen ist bisher nicht erörtert worden.

Noch weniger war bis vor kurzem etwas über die Funktion der Nase als Staubfilter bekannt. Die alten Untersuchungen von Aschenbrandt (1), Kayser (7) und Bloch (2) waren nur primitive Versuche, die noch dazu ein sehr widersprechendes Ergebnis hatten. Als sicher konnten eigentlich nur gelten, daß gröberer Staub besser zurückgehalten wird als feiner. Über die mengenmäßigen Beziehungen war jedoch nichts bekannt.

Lehmann (13) hat eine Methode ausgearbeitet, welche es gestattet, die Staubmengen quantitativ zu bestimmen, die beim Durchgang von der Nase zurückgehalten werden. „Gute" Nasen vermögen bis zu 80 % des Staubes zurückzuhalten, während die „schlechten" fast den ganzen Staub passieren lassen. Die individuellen Unterschiede sind demnach auffallend groß, ohne daß es bis heute möglich wäre, sie durch anatomische Verhältnisse restlos zu erklären.

In der vorliegenden Arbeit wird der Versuch unternommen, auf gasanalytischem Wege zu einer Bestimmung funktionell wichtiger Größen zu gelangen, die ihrer Natur nach auf die drei erwähnten Funktionen, nämlich die Erwärmung, die Anfeuchtung der Luft und ihre Reinigung von Staub von Einfluß sein müssen.

Bei einem solchen Vorgehen, das angesichts des fast völligen Fehlens von früheren Untersuchungen zunächst methodisch-

orientierend sein mußte, war es notwendig, den Gaswechsel in der Nase selbst bezw. die Diffusion durch die Schleimhaut zu berücksichtigen. Der Gaswechsel ist außer von der Größen- und Oberflächenentwicklung des Nasenraumes von der respiratorischen Tätigkeit der Nasenschleimhaut abhängig. Wie sich diese Austauschvorgänge abspielen, ist bisher noch nicht einwandfrei nachgewiesen worden. Ebenso wie bei der Lunge kann man einen Sekretions- oder nur einen Diffusionsvorgang annehmen. Auf Grund der Beweisführung von A. Krogh (10) ist die Frage für die Lunge endgültig zu Gunsten einer Diffusion entschieden. Von M. Krogh (11) ist nachgewiesen worden, daß die Diffusion genügend groß ist, um den Gasaustausch durch die Alveolarwand in der Ruhe wie auch während körperlicher Arbeit zu gewährleisten. Boje Ove (3) hat durch eine große Anzahl von Versuchen ermittelt, wie sich die Diffusion bei steigender Arbeitsintensität verhält. Kommt nun für die Lunge nur eine Diffusion in Frage, so sind in der Nase, in der der Gaswechsel nur eine untergeordnete Rolle spielt, Sekretionsvorgänge unwahrscheinlich.

Soweit mir bekannt ist, wurde nur eine Arbeit über den Gaswechsel der Nasenschleimhaut veröffentlicht und zwar von Hellmann (6). Seine Untersuchungen zur Ermittlung der Kohlensäureabgabe machte er mit einem Gasstrom bekannter Zusammensetzung. Reiner Sauerstoff, der durch Kalilauge von der etwa vorhandenen Kohlensäure gereinigt war, wurde in ein Nasenloch geleitet und trat zum anderen wieder hinaus. Ein mit Gaze umwickelter Spatel wurde nach Cocainisierung von Gaumen und Rachenwand an den weichen Gaumen angedrückt. Manche Versuchspersonen konnten den Spatel sogar ohne Anästhesie vertragen. Zur Sicherung, daß keine Lungenluft oder atmosphärische Luft in die Nase gelangte, kam ein „Überdruckverfahren" zur Anwendung. Der Druck durfte jedoch nicht größer sein als die Kraft, mit der das Gaumensegel angedrückt wurde. Nachdem der Sauerstoffstrom den so verschlossenen Nasenraum passiert hatte, gelangte er in Waschflaschen, die mit n/100 Bariumhydroxydlösung gefüllt waren. Das durch Kohlensäure nicht gebundene Bariumhydroxyd wurde nach Hinzufügen von alkoholischem Phenolphthalein mit n/100 Salzsäure titriert. Die Differenz der Ausgangsmenge des Bariumhydroxyds und der verbrauchten Salzsäure ergab die Menge der von der Nase ausgeschiedenen Kohlensäure. Hellmann errechnete für die gesamte Nasenoberfläche eine Kohlensäureausscheidung von durchschnittlich 0,000 391 g in 1 Minute und somit eine Tagesausscheidung von 0,536 g. Nach seiner Berechnung, die sich auf Messungen an der

Leiche erstreckte, hat die Nase eine innere Oberfläche von 133 qcm. Von 1 qcm Nasenfläche werden demnach in 24 Stunden 0,004 g Kohlensäure ausgeschieden. Nach der Schätzung von Leuven (15), der die Größe der Nasenoberfläche mit 200 qcm annehmen zu müssen glaubt, würde sich ein etwas niedrigerer Wert ergeben.

Zur Feststellung der Sauerstoffresorption wurde dieselbe Methode angewandt, nur mit dem Unterschied, daß jetzt atmosphärische Luft durch die Nase geleitet und mit der Hempelschen Bürette analysiert wurde. Die gefundenen Sauerstoffmengen kamen so nicht in absoluten Grammwerten zur Messung, sondern es ließ sich nur feststellen, wieviel Sauerstoff prozentual aus der eingeleiteten Luft aufgenommen wurde. Wenn die Luft mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 Liter in der Minute die Nase passierte, wurden daraus 0,4 % Sauerstoff resorbiert. Bei der Kohlensäureanalyse, die der Sauerstoffbestimmung vorausging, fand sich unter den gleichen Bedingungen ein Wert von 0,32 % Kohlensäure. Die Sicherheit der Ergebnisse wird durch die angewandten gasanalytischen Methoden sehr beeinträchtigt. Die Analysen der atmosphärischen Luft mit der Hempelschen Bürette, die zur Kontrolle ausgeführt wurden, waren so unvollkommen, daß ein Nachweis von Kohlensäure überhaupt nicht gelang und nur 20,30 % Sauerstoff gefunden wurden, während die atmosphärische Luft bekanntlich etwa 0,03 % Co_2 und 20,90 % O_2 enthält.

Weitere Untersuchungen über den Gaswechsel wurden bei abgeschlossenem Nasenraum mit einer ruhenden Gasmenge ausgeführt. Nach einer Versuchszeit von 30 Minuten fand sich eine Kohlensäurekonzentration von durchschnittlich 0.92 %. Der höchste Wert war 1.98 %. Bei noch längerem Verweilen der Luft in der Nase stieg die Konzentration bis auf 4.3 %. Die Anreicherung von Kohlensäure wurde der Versuchszeit proportional gefunden. Wann der völlige Ausgleich mit der Kohlensäurespannung des Blutes eintritt, hat Hellmann nicht ermitteln können.

Die auf die Einheit der Nasenoberfläche bezogenen Zahlen für den Gasaustausch vergleicht Hellmann mit den im Lungengaswechsel bekannten und stellt überraschenderweise fest, daß sie höher sind als diese. Er glaubt dieses Verhalten nur durch die Annahme eines sekretorischen Mechanismus für den Gasaustausch in der Nase verständlich machen zu können. Auf den Berechnungsgang und die bei seinen Betrachtungen ihm unterlaufenen Fehler werden wir unten zurückkommen. Eine Nachprüfung der Hellmannschen Ergebnisse bildete den Ausgangspunkt meiner Arbeit.

B. Methodik.

Sollten die Untersuchungen verwertbare Ergebnisse bringen, so war es wichtig, einen Apparat zur Gasanalyse zu verwenden, der den Anforderungen, die an die Genauigkeit zu stellen waren, entsprach. Die absoluten Mengen der von der Nasenschleimhaut aufgenommenen und abgegebenen Gase sind im Verhältnis zur Lunge außerordentlich klein, aber doch groß genug, um schon nach kurzen Zeitabschnitten sicher meßbare Werte zu erhalten. Zur Gasanalyse benutzte ich den Haldaneschen Apparat (5) in der von Carpenter zur Erhöhung der Empfindlichkeit angegebenen Modifikation.

In der 20 ccm fassenden Meßröhre wird durch pendelnde Bewegung eines Quecksilberniveaugefäßes die zu untersuchende Gasmenge mit 10prozentiger Kalilauge in Berührung gebracht, sodaß nach etwa vier Minuten die vorhandene Kohlensäure absorbiert ist. Dann wird nach abwechselndem Hin- und Herleiten des Gases in Natriumhydrosulfitlösung die Sauerstoffmenge gemessen. Analysen der atmosphärischen Luft ergaben einen durchschnittlichen Gehalt von 0.04 % Co_2 und 20.87 % O_2.

Die Kohlensäureabgabe und Sauerstoffaufnahme bei Durchströmung mit atmosphärischer Luft.

Für die Versuche kam eine ähnliche Anordnung in Anwendung, wie sie Lehmann (13) zur Messung des Staubbindungsvermögens benutzt (Abb. 1). Mit Hilfe einer elektrisch betriebenen Pumpe P wurde atmosphärische Luft durch eine Gasuhr G_1, die zur Feststellung der Durchströmungsmenge diente, in die Nase geleitet. Um ein Vorbeiströmen zu verhindern und um einen luftdicht abgeschlossenen Raum herzustellen, verwendete ich zur Gaseinfuhr ein gabelförmig verzweigtes Glasröhrchen, dessen Endstücke in die beiden Nasenlöcher eingeführt und mit einer Moosgummiplatte S fest an die Nase gepreßt wurden. Die Ableitung der eingeblasenen Luft erfolgte durch ein in den Mund eingeführtes Glasrohr M. Von hier wurde das Gas durch einen zwei Meter langen Gummischlauch in eine zweite Gasuhr G_2 geleitet, die zur Kontrolle diente. Diese mußte gleiche Mengen Gas wie

die erste Gasuhr anzeigen, dann war erst sicher, daß keine Luft während des Versuches durch irgend eine Undichtigkeit entwichen war. In kurzem Abstand von dem Mundstück befand sich ein System von vier evakuierten Rezipienten, mit denen in bestimmten Zeitabschnitten nacheinander Proben der ausströmenden Luft entnommen werden konnten. Die Versuchspersonen hatten bei den Messungen nach einigen tiefen Atemzügen unter Abschluß der Stimmritze etwa 40—50 Sekunden den Atem anzuhalten. Trotzdem sich aktives Blasen, durch das Alveolarluft in den Rezipienten gelangen konnte, aus dem schnelleren Gang der zweiten Gasuhr feststellen ließ und die betreffenden Versuche abzusondern erlaubte, kam es gelegentlich vor, daß geringste Mengen von Alveolarluft in den Rezipienten gelangten. Aus diesem Grunde mußten manche Versuchsergebnisse, die allzu hohe, unrichtig erscheinende Kohlensäuremengen aufwiesen, verworfen werden. Durch Übung der Versuchspersonen ließen sich derartige Fehler vermeiden. Um die Nase von etwa vorhandener, aus der Lunge stammender Kohlensäure zu reinigen, wurde zunächst 30 Sekunden lang atmosphärische Luft hindurchgeleitet. Erst dann erfolgte im Abstand von je fünf Sekunden die Füllung der vier Rezipienten.

Die Tabelle I zeigt die Ergebnisse der Kohlensäureabscheidung und Sauerstoffaufnahme bei wechselnder Durchströmungsgeschwindigkeit.

Die Versuche zeigen, daß ungefähr ebensoviel Sauerstoff aufgenommen wie Kohlensäure abgeschieden wird. Bei einer Durchströmungsmenge von 1200—1500 ccm in einer Minute bewegt sich die Konzentration der abgeschiedenen Kohlensäure durchschnittlich um 0.1 %. Ebenso sinkt der Sauerstoffgehalt der Luft um etwa 0.1 %. Die Werte schwanken bei den einzelnen Versuchspersonen nur wenig. Bei diesen Zahlen ist zu beachten, daß sie nicht allein für die Nase, sondern für Nasen- und Rachenraum gelten.

Um die Austauschverhältnisse allein für die Nasenfläche festzustellen, wurde der Nasenrachenraum vollständig mit einem Spatel abgeschlossen, indem dieser gegen den weichen Gaumen angedrückt wurde. Der mit weicher Gaze umwickelte Spatel konnte ohne Anästhesie vertragen werden. Diese von Kayser (8) und Hellmann (6) angewandte Methode ermöglichte es, Gas zu analysieren, welches nur die Nase durchströmt hatte. Auch konnten Beimengungen von Lungenluft mit noch größerer Sicherheit vermieden werden. Der Luftstrom wurde durch ein Nasenloch eingeleitet und durch das andere wieder hinausgeleitet. Der

Luftstrom kam so mit der Schleimhaut beider Nasenseiten in Berührung, während er in den oben angeführten Versuchen geteilt durch die Nase ging. Im übrigen war die Versuchsanordnung genau dieselbe.

Bei der Versuchsperson Ha. ergaben sich in fünf Versuchen bei einer durchschnittlichen Durchströmungsmenge von 1 500 ccm in einer Minute die aus der Tabelle II ersichtlichen Werte.

Die Konzentration der von der Nasenschleimhaut abgegebenen Kohlensäure beträgt durchschnittlich 0.058 %, die Abnahme des Sauerstoffgehaltes der Luft im Mittel 0.067 %.

Rechnet man diese Prozentwerte in Gramm um, so erhält man, da ein Liter Co_2 = 1.977 g wiegt, auf Normalzustände reduziert, für eine Minute: 0,00151 g Co_2.

Für den Sauerstoff ergibt sich bei einem Litergewicht von 1 429 g für dieselbe Zeit 0.00127 g O_2

In 24 Stunden dann: 2.17 g Co_2

und: 1.81 g O_2.

Wenn man nach Hellmann annimmt, daß die innere Nasenfläche 133 qcm beträgt, so errechnet man für 24 Stunden auf 1 qcm Nasenfläche die Ausscheidung von 0,0163 g Co_2 und die Aufnahme von 0.0137 g O_2.

Ein ähnliches Resultat ist mit derselben Versuchsanordnung bei der gleichen Versuchsperson, aber bei einer geringeren Durchströmungsmenge von 150 ccm in einer Minute gefunden worden.

Es ergibt sich hier ein Durchschnittswert von:

0.658 % Co_2 und 0.53 % O_2.

Wiederum in Gramm umgerechnet, erhält man Werte von

2.476 g Co_2 und 1.443 g O_2 in 24 Stunden.

Von 1 qcm Nasenfläche werden dann

0.0186 g Co_2 abgeschieden und 0.011 g O_2 aufgenommen.

Diese Zahlen kommen den obigen nahe.

Bei Anwendung dieser verlangsamten Durchströmung wäre infolge des kleineren Diffusionsgefälles eine Verminderung der Diffusion zu erwarten, was jedoch aus unseren Zahlen nicht ersichtlich ist. Die Ursache, daß die Diffusion auf gleicher Höhe geblieben ist, kann vielleicht auf die geringe Verschiedenheit der angewandten Durchströmungsmenge zurückzuführen sein.

Keinesfalls darf aus dem gleichen Ausfall der beiden bei nur wenig veränderten Versuchsbedingungen gewonnenen Werte der Schluß gezogen werden, daß für Aufnahme und Abgabe der

Gase durch die Nasenschleimhäute die Konzentration dieser Gase im Naseninnern bedeutungslos ist.

Die errechneten 24-Stundenwerte haben daher auch nur eine theoretische Bedeutung; das heißt, die angegebenen Zahlen würden dann erreicht werden, wenn dauernd atmosphärische Luft gleichmäßig durch die Nase fließen würde. Sie werden aber bei normaler Atmung nicht erreicht, da diese Bedingungen nur während der Einatmung gegeben sind.

Versuche zur Bestimmung der Diffusionsgröße für Kohlenoxyd.

Aus den im vorigen Abschnitt gegebenen Zahlen Schlüsse auf die für die Diffusion zwischen Luft und Blut in der Nasenschleimhaut bestimmenden Größen zu ziehen, erscheint mit einiger Sicherheit nicht möglich, da die gefundenen Werte nicht allein durch das Diffusionsgleichgewicht zwischen Luft und Blut bestimmt sein können. Es muß doch in ihnen außerdem der Eigenverbrauch der Schleimhaut an Sauerstoff und deren Co_2-bildung ihren Ausdruck finden. Aus diesem Grunde schien es aussichtsreicher, der Beurteilung der Diffusionsverhältnisse Versuche mit einem Fremdgase zu Grunde zu legen.

Als Gas, welches sich für diesen Zweck gut eignet, gebrauchte ich Kohlenoxyd. Infolge der großen Affinität zum Hämoglobin werden bei relativ niedriger Spannung bereits große Mengen aufgenommen und fest gebunden, sodaß der analytische Nachweis der in das Blut übertretenden Mengen keine besonderen Schwierigkeiten zu bieten versprach. Die Größe der Gasdiffusion könnte berechnet werden, wenn die für die Diffusion in Frage kommende Fläche der Nase, die Diffusionskonstante des zu durchdringenden Gewebes und die Konzentration des betreffenden Gases im Blut und in der Nasenluft bekannt wäre.

Eine Diffusionskonstante der Nasenschleimhaut für irgend ein Gas ist bis heute nicht ermittelt worden. Ihre Kenntnis wäre im Sinne der hier behandelten Fragestellung ebenso wertvoll wie die Kenntnis der inneren Nasenoberfläche, die bisher bei Lebenden nicht festgestellt werden konnte.

Für die Lunge ist eine Bestimmung der Diffusionskonstante von M. Krogh (11) ausgeführt worden. Sie verfuhr dabei so, daß ein Kohlenoxydluftgemisch in die Lunge gebracht und gemessen wurde, wieviel davon in bestimmter Zeit aus den Alveolen in das Blut diffundiert. Die Versuchspersonen mußten ein 1prozentiges Co-Luftgemisch tief einatmen, nachdem eine Trommel und Zeitschreibung in Gang gesetzt worden war. Die Ausatmungsluft wurde durch eine besondere Vorrichtung aufgefangen und eine

Probe dieser Alveolarluft zur Analyse entnommen. Nach einer zehntel Minute wurde wiederholt aus dem Spirometer Co-Luft eingeatmet und wiederum von der ausgeatmeten Luft eine Probe entnommen. Die Analysen der Proben ergaben die alveoläre Co-Spannung am Anfang und Ende des Versuches, woraus die Diffusionskonstante berechnet werden konnte. Aus dieser ermittelten Co-Diffusionskonstante der Lunge wurden dann die entsprechenden Diffusionskonstanten für den Sauerstoff und die Kohlensäure gefunden. Nach M. Krogh (11) sind also die Konstanten:

$$dO_2 = 1.23 \cdot dCo$$
$$dCo_2 = 24.6 \cdot dCo.$$

Für meine Versuche zu Ermittlung der Co-Diffusion der Nase war die Anordnung dieselbe wie bei den früheren Untersuchungen, nur daß anstatt der atmosphärischen Luft ein 4—5prozentiges Co-Luftgemisch durch die Nase geleitet wurde. (Abb. 2.) Das benötigte Kohlenoxyd wurde aus zwei Teilen Schwefelsäure und einem Teil Ameisensäure hergestellt. Um reines Gas zu erhalten, mußte die Schwefelsäure in einem Wasserbad auf 70—80° erwärmt und dann tropfenweise die Ameisensäure zugeführt werden. Das entstehende Kohlenoxyd durchströmte zwei mit 20prozentiger Kalilauge gefüllte Waschflaschen, wurde dann in eine Woulfsche Flasche geleitet und hier bis zum Gebrauch aufbewahrt. Das so vorbereitete Gas enthielt noch geringe Spuren von Kohlensäure, was bei der Berechnung der Versuchsergebnisse berücksichtigt werden mußte. Zur genauen Feststellung der Ausgangskonzentration wurde eine Probe des Gases entnommen. Aus technischen Gründen erfolgte die Entnahme unmittelbar nach Beendigung des Versuches im Rezipient R_1. Der Rezipient R_2 diente zur Entnahme des Gases, welches durch die Nase geströmt war. Bei der Analyse des Kohlenoxydes im Haldaneschen Apparat stießen wir auf die bekannten schon von Lindhard (16) erwähnten Schwierigkeiten. An die Absorption der Kohlensäure schließt sich die Verbrennung des Kohlenoxydes in der Verbrennungspipette. Man bestimmt nun sowohl die Volumkontraktion infolge der Verbrennung wie auch die gebildete Co_2-Menge. Diese muß nach der Verbrennungsformel:

$$2Co + O_2 = 2Co_2$$

das doppelte der dabei entstehenden Kontraktion betragen. Bei Probeanalysen lagen jedoch die Werte für die Kohlensäure 12 % und 20% unter dem eigentlich zu erwartenden Resultat. Wenn derartige Unstimmigkeiten zwischen den beiden Zahlen vorhanden sind, und die Kohlensäurezahlen nicht das doppelte der Kontraktionswerte ausmachen, soll man nach M. Krogh (11) den Kontrak-

tionszahlen den Vorzug geben. Da diese bei wiederholten Analysen des gleichen Gasgemisches schwankten, während die Kohlensäurezahlen immer gut übereinstimmten, zogen wir es vor, letztere zur Berechnung zu verwenden. Für die Berechnung ist es an sich gleichgültig, ob man die Kohlensäurezahlen selbst oder andere, mit ihnen proportionale Werte benutzt. Zur Vervollständigung der Analyse wurde anschließend der Sauerstoff absorbiert. Tabelle IIIa gibt Aufschluß über die angestellten Versuche. Da bei jeder Analyse auch die Kohlensäure bestimmt wurde, so konnte zu gleicher Zeit die Co_2-Abscheidung der Nasenschleimhaut festgestellt werden. Die Ergebnisse sind aus der Tab. IIIb ersichtlich.

Aus diesen Ergebnissen läßt sich nun die Co-Diffusion durch die Nasenschleimhaut beurteilen.

Die aufgenommene Kohlenoxydmenge muß proportional sein der Diffusionskonstante dCo, der Fläche der Nasenschleimhaut F, der Zeit t und dem Konzentrationsgefälle zwischen der Nasenluft und dem Blut $(C - C_{Bt})$.

Es ergibt sich also:

$$M = dCo \cdot F \cdot t \, (C - C_{Bt}).$$

Dabei ist die Durchschnittskonzentration der Nasenluft:

$$C = \frac{Co_e + Co_a}{2},$$

wenn Co_e, Co_a die einströmende bezw. ausströmende Luft bedeutet und C_{Bt} die Kohlenoxydkonzentration im Blute ist.

Andererseits ist aber:

$$M = \frac{(Co_e - Co_a)\, D}{100},$$

wobei D = Durchströmungsmenge des Gasgemisches ist. Die Verwendung von Kohlenoxyd bietet den Vorteil, daß für unsere Zwecke, dank der großen Affinität dieses Gases zum Hämoglobin, die Kohlenoxydkonzentration im Blut als Null angenommen werden und die Menge des durch die Kapillaren fließenden Blutes außer Ansatz bleiben kann.

Es ist also: $C_{Bt} = O$.

Dabei ergibt sich:

$$\frac{(Co_e - Co_a)\, D}{100} = \frac{Co_e + Co_a}{2} \, dCo \; F \cdot t \text{ oder}$$

$$\boxed{dCo \; F = \frac{(Co_e - Co_a)\, 2D}{(Co_e + Co_a)\, t \cdot 100}}$$

Der Ausdruck dCo F stellt das Produkt aus der für die Diffusion in Frage kommende Fläche F und der Diffusionskonstanten dCo dar. Wir vermögen ihn zunächst nicht weiter aufzulösen. Jedoch können wir dieses Produkt als die Zahl ansehen, welche für das Diffusionsvermögen kennzeichnend ist. Es ließen sich die auf Tabelle IV angeführten Werte errechnen.

Versuche mit ruhender Luft bei abgeschlossenem Nasenraum.

Bei den bisherigen Versuchen wurde strömendes Gas verwendet. Dabei kommt je nach der Strömungsgeschwindigkeit das Gas länger oder kürzer mit der Nasenschleimhaut in Berührung. Für die Größe der Diffusion spielt die Flächenentwicklung der Nase eine Rolle, nicht aber das Volumen des Nasenraumes. Wir konnten aus den Versuchen daher auch nur eine die Diffusionsfläche charakterisierende Größe errechnen, aber nichts über das Volumen aussagen. Die infolge der Diffusion aus dem abgeschlossenen Nasenraum in diesem auftretenden Konzentrationsänderungen sind dagegen nicht nur von der Diffusionsfläche und der Diffusionskonstante, sondern daneben von der Größe des Raumes abhängig. Es war daher von Interesse festzustellen, wie sich die Gasdiffusion in dem abgeschlossenen Nasenraum verhält. Hier ändert sich infolge des Gasaustausches ständig das Diffusionsgefälle. Je weitere Fortschritte der Gasaustausch macht, umso kleiner wird das Diffusionsgefälle und umso geringer damit die Ausscheidung bezw. die Aufnahme von Gasen durch die Schleimhaut. Beruht jedoch der Gaswechsel der Nase nicht auf einem Diffusionsvorgang, sondern, wie Hellmann (6) annimmt, auf einer Sekretion, so würde der Vorgang voraussichtlich ganz anders ablaufen. Das Diffusionsgefälle würde keine Rolle spielen und die Ausscheidung unabhängig von der Konzentration in der Nasenluft sein. Bei den Versuchen wurde folgendermaßen vorgegangen.

Zum vollständigen Abschließen der Nase drückt die Versuchsperson das Gaumensegel mit Hilfe eines Spatels gegen die hintere Rachenwand. Die Nasenlöcher konnten mit dem beschriebenen Gummiverschluß, durch den zwei mit Gummi umhüllte Kapillarröhrchen in das Naseninnere führten, luftdicht abgeschlossen werden, wenn Zu- und Abführungsschlauch, die mit den Kapillaren in Verbindung standen, abgeklemmt wurden. Vor Beginn des Versuches wurde die in der Nase befindliche Kohlensäure beseitigt und diese mit atmosphärischer Luft gefüllt. Das geschah so, daß vor dem Verschließen des Naseninnern durch die Nase tief eingeatmet und dann nach dem Verschluß mit einer Pumpe nochmals atmosphärische Luft hindurch geblasen wurde.

War es gewiß, daß sich keine Kohlensäure mehr in der Nase befand, dann konnte der Versuch nach Abklemmen der beiden Schläuche beginnen. Zur Ausführung der Analysen durfte nicht mehr als 20 ccm Nasenluft in den Rezipient abgesaugt werden, da bei einer größeren Entnahme unvermeidlich Außenluft nachgeströmt wäre. Nach Braune und Clasen (4) beträgt das Volumen der Nase 34,5 ccm. Man muß also beträchtlich unter dieser Menge bleiben, um sicher zu sein, daß keine nachströmende Außenluft das Ergebnis beeinträchtigt. Bei dem Absaugen von etwa 20 ccm zeigte sich kein Einströmen von Außenluft in die Nase, das sich durch ein schlürfendes Geräusch leicht bemerkbar gemacht hätte. Der entstandene Unterdruck war noch längere Zeit in der Nase festzustellen. Da zu einer Analyse aber 40 ccm Gas notwendig waren, wurde stets der gleiche Versuch zweimal ausgeführt.

Es wurde eine Serie von Versuchen angestellt, die 1, 2, 3, 4, 5, 10 und 15 Minuten dauerten. Die Ergebnisse derselben bei der Versuchsperson Ha. sind auf der Tabelle V angegeben.

Man sieht aus dieser Aufstellung und noch besser aus der graphischen Darstellung (Abb. 3), daß die Kohlensäureabscheidung nicht der Versuchsdauer proportional ist. Die Konzentration in der Nase steigt mit der Versuchsdauer immer langsamer an. Ähnlich verhält sich die Sauerstoffaufnahme. Die gefundenen Werte ergeben graphisch dargestellt annähernd die Form einer Parabel. Der vollständige Ausgleich zwischen der Kohlensäurespannung des Blutes und der eingeschlossenen Nasenluft konnte in unseren Versuchen offenbar nicht erreicht werden.

Es ist auffallend, daß weniger Sauerstoff aufgenommen als Kohlensäure abgeschieden wird.

Diese Tatsache erklärt sich aber nicht aus Besonderheiten eines Sekretionsmechanismus, sondern folgt ohne weiteres aus den für die Diffusion gegebenen Verhältnissen. Das Blut ist in den Nasenkapillaren nahezu arteriell. Beim Eintritt in die Kapillaren beträgt die O_2-Sättigung des Hämoglobins etwa 95—97 %. Es kann also maximal nur der Sauerstoff aufgenommen werden, welcher den an der Sättigung fehlenden 3—5 % und der Zunahme des gelösten Sauerstoffes bei einer Steigerung des Sauerstoffdruckes um etwa 40 mm Hg entspricht. Hierzu kommt der Eigenverbrauch der Schleimhaut.

Entsprechend dem großen Gehalt des arteriellen Blutes an Kohlensäure sinkt das für die Diffusion maßgebliche Konzentrationsgefälle für die Kohlensäure viel langsamer als für den Sauerstoff, obgleich beide im ersten Augenblick etwa gleich sein müs-

sen. Es wird also im Ganzen mehr Kohlensäure diffundieren als Sauerstoff.

Bei der graphischen Darstellung der aus Tabelle V entnommenen Werte ergeben sich zwei Kurven, die Ähnlichkeit mit Parabeln haben. Aus der Parabelgleichung: $y^2 = 2px$ erhalten wir die Formel: $c^2 = at$, wenn die Konzentration c als Ordinate und die Zeit t als Abscisse angenommen wird. Die Quadratzahlen der Kohlensäurekonzentration c^2 lassen, graphisch dargestellt, von kleinen Abweichungen abgesehen, eine Gerade erkennen. (Abb. 4).

$c^2 = at$, worin t in Sekunden ausgedrückt ist. Nach der Kurve (Abb. 4a) ist:

$a = 0{,}037$. Somit beträgt die Konzentrationszunahme an Kohlensäure in der ersten Sekunde: $\sqrt{0{,}037} = 0{,}1924\,\%$ oder als Spannung ausgedrückt:

$$\frac{0.1924 \cdot 760}{100} = \underline{1.4622 \text{ mm Hg} \cdot}$$

Führen wir nun einmal dieselbe Berechnung für den von der Nase aufgenommenen Sauerstoff durch, so ist hier nach der Kurve (Abb. 4b) $a = 0{,}014$.

Die Konzentration c des in der ersten Sekunde diffundierten Sauerstoffes beträgt: $\sqrt{0{,}014} = 0{,}118\,\%$, entsprechend einem Druck von **0,8968 mm Hg.**

Für die Diffusion in der ersten Sekunde dürfte die erwähnte Tatsache, daß die Sauerstoffaufnahmefähigkeit des Blutes in der Nase recht gering ist, noch keine Rolle spielen. Wir dürfen daher annehmen, daß für die Diffusion hier nur das Spannungs- bezw. Konzentrationsgefälle entscheidend ist.

Die in der ersten Sekunde diffundierte Sauerstoffmenge M ist:

$$M = \frac{V \cdot c}{100}$$

wenn V das Volumen des Nasenraumes ist.

Andererseits ist nach früheren Berechnungen diese Menge

$$M = dO_2\ F\ (O_{2A1} — O_{2B1})$$

wobei dO_2 F das früher ermittelte Produkt aus Nasenfläche und Diffusionskonstante ist, O_{2A1} und O_{2B1} die Sauerstoffspannungen in Außenluft und Blut bedeuten.

Es ist daher das Volumen:

$$V = \frac{dO_2\ F\ (O_{2A_1} — O_{2B_1}) \cdot 100}{c}.$$

Dieser Ausdruck bedarf einer Korrektur wegen des Eigenverbrauches der Schleimhaut an Sauerstoff. Ist E der Sauerstoffverbrauch der Schleimhaut pro Sekunde, so ist die diffundierte Sauerstoffmenge in der ersten Sekunde:

$$M' = \frac{V \cdot c}{100} - E \cdot$$

Andererseits ist das in der ersten Sekunde durchschnittlich zur Verfügung stehende Spannungsgefälle um die Hälfte der durch den Eigenverbrauch bedingten Konzentrationsabnahme kleiner.

Also ist:

$$M' = dO_2\ F \left[(O_{2\,Al} - O_{2\,Bl}) - \frac{c - \frac{E \cdot 100}{V}}{2} \right]$$

Woraus folgt:

$$V = \frac{dO_2\ F \left[(O_{2\,Al} - O_{2\,Bl}) - \frac{c - \frac{E \cdot 100}{V}}{2} \right] \cdot 100}{c - \frac{E \cdot 100}{V}}$$

oder:

$$V - \pm \sqrt{\frac{50 \cdot 100 \cdot dO_2\ F \cdot E}{c} + \frac{\left[100\ E + 100 \cdot dO_2\ F \left(\left(O_{2\,Al} - O_{2\,Bl} \right) - \frac{c}{2} \right) \right]^2}{4\ c^2}} + \frac{100\ E + 100 \cdot dO_2\ F \left(\left(O_{2\,Al} - O_{2\,Bl} \right) - \frac{c}{2} \right)}{2\ c}$$

Nach M. Krogh (11) ist:

$dO_2 = 1{,}23 \cdot dCo$. Also ist auch:

$dO_2\ F = 1{,}23 \cdot dCo\ F$, worin dCo F nach unserer Berechnung für die Nase 0,007 ist. Also ist:

$dO_2\ F = 1{,}23 \cdot 0{,}007 = 0{,}0086$.

Die Konzentration bezw. Spannung des Sauerstoffes der Außenluft O_{2Al} ist mit 20,90 % $= \frac{20.90 \cdot 760}{100} = 158{,}84$ mm Hg und die Konzentration bezw. Spannung des Blutsauerstoffes mit 16 % $= \frac{16 \cdot 760}{100} = 121{,}60$ mm Hg angenommen.

Nach den in den Tabulae biologicae (20) zusammengestellten Befunden ist der Sauerstoffverbrauch des Darmes für 1 kg und in 1 Minute:

beim Hund: 18,9—23,4 ccm
bei der Katze: 10 —15 ccm

Der Sauerstoffverbrauch der Leber beträgt:

beim Kaninchen: 15—24 ccm
bei der Katze: 5—18 ccm
beim Hund: 27 ccm.

Der Skelettmuskel der Katze hat einen Sauerstoffverbrauch von 8—9 ccm pro kg in 1 Minute, während dagegen der Herzmuskel 35 ccm Sauerstoff verbraucht.

Es scheint daher berechtigt, für die Nasenschleimhaut einen Eigenverbrauch von 5—15 ccm pro kg in 1 Minute anzunehmen. Wenn man weiter annimmt, daß die Fläche der Nase 133 qcm und die Dicke der Schleimhaut 0,1 cm beträgt, so ergibt sich für die Masse der Nasenschleimhaut ein Wert von 13,3 ccm. Diese Schleimhautmasse verbraucht in 1 Minute 0,066 ccm Sauerstoff bei einem angenommenen Eigenverbrauch von 5 ccm pro kg und Minute.

In einer Sekunde beträgt der Eigenverbrauch demnach

0,001 ccm Sauerstoff.

Diesen Wert setzen wir in obige Gleichung ein und erhalten für das Nasenvolumen:

$$V = 35{,}43 \text{ ccm.}$$

Wird der Sauerstoffverbrauch mit 10 ccm pro kg Schleimhaut in 1 Minute angenommen, so ergibt sich für

$$V = 35{,}49 \text{ ccm.}$$

Bei einem Eigenverbrauch von 15 ccm Sauerstoff ist

$$V = 35{,}62 \text{ ccm.}$$

Die Werte sind also kaum verschieden und stehen in guter Übereinstimmung mit der Messung von Braun und Clasen (4), die an der Leiche ein Volumen von 34,5 ccm ermittelten.

C. Diskussion.

Unsere Ergebnisse gestatten zunächst eine Stellungnahme zu der von Hellmann (6) aufgestellten Behauptung, daß für den Gasaustausch der Nase ein sekretorischer Vorgang angenommen werden müßte. Hellmann kommt zu dieser Vorstellung durch seine Befunde, daß pro Quadratzentimeter Nasenfläche und 24 Stunden 0.004 g Co_2 ausgeschieden werden, während der entsprechende Wert für die Lunge viel niedriger liegt. Wir fanden einen Wert von 0.0163 g. Der von uns gefundene Wert liegt also noch wesentlich höher als der Hellmannsche. Trotzdem wäre es falsch, aus der Größe dieser Zahl auf einen Sekretionsvorgang schließen zu wollen.

Unser Wert für die Kohlensäureausscheidung ist, ebenso wie der von Hellmann, beim Durchströmen der Nase mit kohlensäurefreier Luft gewonnen worden. Es bestand demnach zwischen dem Blut der Lungenkapillaren und der Luft des Nasenraumes ein Spannungsgefälle, das mindestens ebenso groß, wahrscheinlich aber etwas größer war als die Kohlensäurespannung des arteriellen Blutes. Der von Hellmann herangezogene Vergleichswert für die Lunge ist aber unter ganz anderen Bedingungen gewonnen worden. In der Lunge befindet sich ein Gasgemisch von der Kohlensäurespannung des arteriellen Blutes im Diffusionsaustausch mit dem in die Lunge hereinströmenden venösen Blute.

Die für die Diffusion maßgebende Spannungsdifferenz ist also gleich der Spannungsdifferenz zwischen arteriellem und venösem Mischblut.

Während also bei der Bestimmung des für die Nase gefundenen Wertes eine Spannungsdifferenz von etwa schätzungsweise 42 mm Hg bestand, sind es bei der Lunge nur etwa 6 mm Hg. Weiter ist zu bedenken, daß in der Lunge ein vollkommener Gasaustausch verhältnismäßig schnell stattfindet. Das geringe beim Einströmen in die Lungenkapillaren bestehende Druckgefälle gegenüber der Alveolarluft ist schnell ausgeglichen. Um die Menge der in der Zeiteinheit diffundierenden Gase zu berechnen, müßte also die Blutmenge auf der einen, die Luftmenge auf der anderen Seite mitberücksichtigt werden. Diese Notwendigkeit gilt zwar in der gleichen Weise für die Betrachtung der Gasdiffusion in der

Nasenschleimhaut. Die Verhältnisse liegen hier jedoch insofern anders als infolge der großen Spannungsdifferenz zwischen Blut und Luft ein auch nur annähernder Ausgleich des Spannungsgefälles auf dem kurzen, zum Austausch zur Verfügung stehenden Kapillarstück nicht stattfinden kann.

Diese Gründe machen es verständlich, daß die Diffusion durch die Nasenschleimhaut auf die Einheit von Fläche und Zeit berechnet, scheinbar so viel größer ist als in der Lunge. Die hier für die Kohlensäure durchgeführten Betrachtungen gelten sinngemäß auch für den Sauerstoff, so daß auch hier die Annahme eines sekretorischen Mechanismus überflüssig wird.

Der Zweck der vorliegenden Untersuchung lag neben einer Überprüfung der Hellmannschen Ergebnisse darin, über die funktionell wichtigen Größen des respirierenden Teiles der Nase etwas aussagen zu können. Eine Messung der respirierenden Fläche der Nase beim Lebenden auf Grund der angewendeten gasanalytischen Methoden ist nicht möglich. Jedoch ist es uns gelungen, das Produkt aus der Diffusionskonstante und der Fläche zu ermitteln.

Dieses Produkt, das man sinngemäß als die wirksame Diffusionsfläche bezeichnen könnte, weist, wie unsere an verschiedenen Personen durchgeführten Messungen ergeben, recht große individuelle Unterschiede auf. Maßgebend für diese individuellen Unterschiede sind erstens die Flächenentwicklung der Nasenschleimhaut und zweitens die Beschaffenheit derselben. Beides sind Größen, von denen man mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit annehmen kann, daß sie auch für das Staubbindungsvermögen der Nase von Bedeutung sind. Auch diese Größe weist individuelle Unterschiede auf, ohne daß man bis heute in der Lage wäre, diese Unterschiede in jedem einzelnen Falle auf anatomische Verhältnisse zurückzuführen (Lehmann) (13).

Unsere Messungen und Berechnungen gestatten ferner erstmalig eine Bestimmung der Größe des Nasenraumes beim lebenden Menschen. Die Berechnung stützt sich auf die Beobachtung der Diffusion von Sauerstoff aus dem abgeschlossenen Nasenraum heraus, andererseits auf die Bestimmung der wirksamen Diffusionsfläche mit Hilfe von Kohlenoxyd. Die gleiche Berechnung könnte man auch auf Grund der Diffusion von Kohlensäure aus dem Blut in den abgeschlossenen Nasenraum hinein vornehmen. Führt man diese Berechnung für die Kohlensäure durch und legt dabei den von M. Krogh (11) angegebenen Wert für das Verhältnis der Diffusionskonstante der Kohlensäure zu Grunde, so erhält man einen viel zu großen und sicherlich falschen Wert für den Nasenraum. Der Fehler dürfte in dem von Krogh angegebenen Wert der Diffusionskonstante liegen, der sich nur auf eine einzige Messung

stützt. Nach unseren Befunden wäre für die Diffusionskonstante der Kohlensäure ein Wert anzunehmen, der nur wenig über dem des Sauerstoffes liegt, eine Vorstellung, die viel Wahrscheinlichkeit für sich hat (Lehmann) (14).

Das Ergebnis unserer Bestimmung des Nasenraumes stimmt auffallend gut mit älteren Messungen an der Leiche überein. Die Methode dürfte daher geeignet sein, weiteren Untersuchungen über die Nase und ihre Funktion zu Grunde gelegt zu werden.

———::———

Am Schlusse meiner Arbeit erfülle ich hiermit meine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. G. Lehmann für die Überlassung des Themas sowie für seine wertvollen Ratschläge verbindlichst zu danken.

Tabelle I.

Versuchsperson	Versuchsanzahl	Durchströmungsmenge in 1 M. ccm	Co_2-Zunahme %	O_2-Abnahme %
Ha.	1	1200	0.094	0.10
	2	1500	0.099	0.11
	3	1600	0.086	0.09
	4	1600	0,103	0.11
	5	1600	0.096	0.10
	6	1300	0.110	0 10
	7	1500	0.088	0.07
	8	1700	0.075	0.10
	9	1700	0.060	0.06
	10	1400	0.097	0 07
	11	1500	0.089	0.08
Le.	1	4500	0 032	0.04
	2	1000	0.122	0.08
	3	1200	0.099	0 08
	4	1400	0.064	0.10
	5	1500	0.078	0.08
	6	1300	0,097	0.12
	7	1600	0.082	0.06
	8	1950	0 050	—
Hah.	1	1700	0.068	0.08
	2	1500	0.095	0.09
	3	1600	0.096	0.08
	4	1600	0.088	0.09
Tr.	1	1200	0.118	0.09
	2	1400	0.102	0.13
	3	1700	0.082	0.09
Lü.	1	2000	0.091	0.08
Ke.	1	1400	0.088	0.09
Sca.	1	1600	0.091	—
	2	1600	0.105	—

Tabelle II.

	Co_2 %	O_2 %
1.	0.046	0.04
2.	0.057	0.05
3.	0.068	0.05
4.	0.079	0.13
5.	0.041	—
	0 058	0.067

Tabelle IIIa.

Durchströmungsrichtung: Nase—Mund

Kohlenoxydkonzentration in %

Versuchsperson	Versuchsanzahl	Einström. Co_e	Ausström. Co_a	Differenz $Co_e - Co_a$	Durchstr.-Menge in 1 Min. ccm
Le.	1	5.430	5.243	0 187	1200
	2	4.850	4 673	0.177	1600
	3	4.779	4.704	0.075	1940
Sca.	1	5.140	4.925	0.215	1640
	2	5.850	5.704	0.145	1610
Ha.	1	5 950	5.762	0.188	1940
	2	5.330	5.184	0.146	2120
	3	5.232	4.980	0.252	1760
	4	5.819	5.638	0.181	2220
	5	2.019	1.902	0.117	1500
Ke.	1	4.963	4.827	0.136	1410
Hah.	1	6.615	5.972	0.643	1500
	2	6.749	6.330	0.419	1500
	3	5.058	4.879	0.179	2000
		Durchströmungsrichtung: Nase-Nase			
Ha.	1	1.706	1.655	0.051	1500
	2	5.040	4.882	0.158	1500
	3	5.784	5 626	0.153	1565

Tabelle IIIb.

Durchströmungsrichtung: Nase—Mund
Kohlensäurekonzentration in %

Versuchsperson	Versuchsanzahl	Einströmung	Ausströmung	Differenz	Durchstr.-Menge in 1 Min. ccm
Le.	1	0.101	0.198	0.097	1200
	2	0.090	0.172	0.082	1600
	3	0.199	0.249	0.050	1940
Sca.	1	0.110	0.201	0.091	1640
	2	0.088	0.209	0.121	1610
Ha.	1	0.108	0.208	0.100	1940
	2	0.060	0.200	0.140	2120
	3	0.105	0.315	0.210	1760
	4	0.073	0.236	0.163	2220
	5	0.145	0.186	0.041	1500
Ke.	1	0.110	0.198	0.088	1410
Hah.	1	0.107	0.330	0.223	1500
	2	0.128	0.321	0.193	1500
	3	0.065	0.251	0.186	2000
		Durchströmungsrichtung: Nase-Nase			
Ha.	1	0.166	0.223	0.057	1500
	2	0.076	0.155	0.079	1500
	3	0.092	0.160	0.068	1565

Tabelle IV.

dCo F

Versuchsperson	Versuchsanzahl	F = Nasen- u. Rachenoberfläche	Durchschnitt	Durchströmungsrichtung
Le.	1	0.0075		Nase — Mund
	2	0.0099	0.0075	„
	3	0.0051		„
Sca.	1	0.0106	0.0092	„
	2	0.0077		„
Ha.	1	0.0105		„
	2	0.0097		„
	3	0.0145	0.0121	„
	4	0.0116		„
	5	0.0139		„
Ke.	1	0.0065	0.0065	„
Hah.	1	0.0255		„
	2	0.0160	0,0183	„
	3	0.0133		„
		F = Nasenoberfläche		Nase — Nase
Ha.	1	0.0074		„
	2	0.0063	0.0071	„
	3	0.0076		„

Tabelle V.

Kohlensäureabgabe in %
Versuchsdauer in Minuten

1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.	10 Min.	15 Min.
1.298	1 945	2.635	2.952	3.352	4.057	4.527
1.479	1.944	2.593	3.097	3.284	4.182	4.595
1.324	2.074	2.560	2.997	3.421	4.139	4.736
1.381	2.072	2.633	2 960	3,312	4.172	4.692
	2.068	2 531	3.002	3.287		
	2.026	2.580	3.064			
			2.789			
Durchschn.						
1.370	2.022	2.589	2.980	3.331	4.138	4.637

Sauerstoffaufnahme in %
Versuchsdauer in Minuten

1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.	10 Min.	15 Min.
0.64	1.18	1.43	1.79	2.04	3.30	3.79
0.69	1.10	1.34	2.04	2.00	3.48	3.75
0.71	1.04	1.42	1.83	1.91	3.39	3.91
0.65	1.07	1.38	1.91	2.20	3.22	3.73
	1.01	1.37	1.87	2.11		
	1.05	1.43	2.04			
			1.70			
Durchschn.						
0.67	1.07	1.40	1.88	2.06	3.35	3 79

Abb. 1.

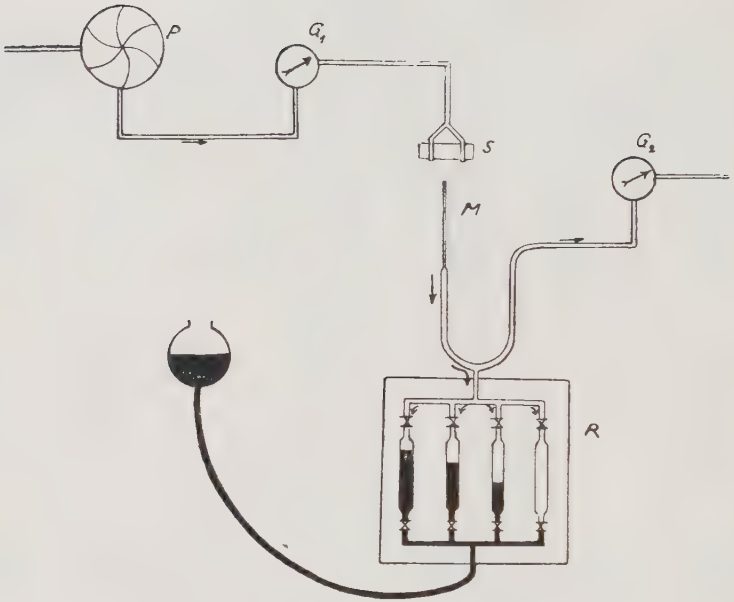


Abb. 2.

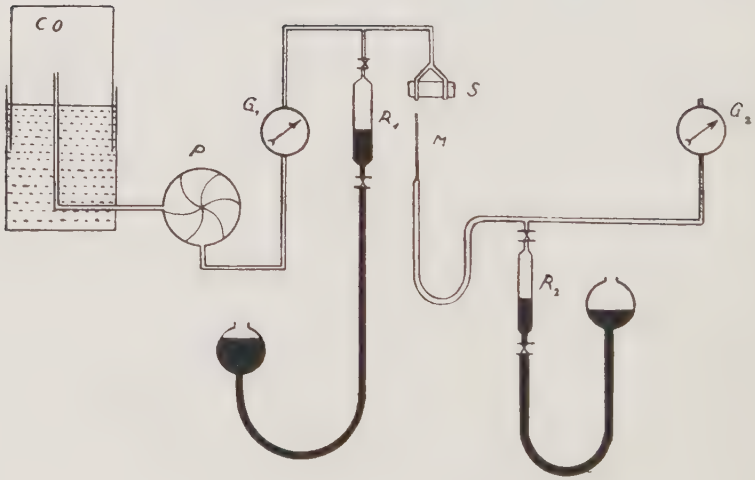
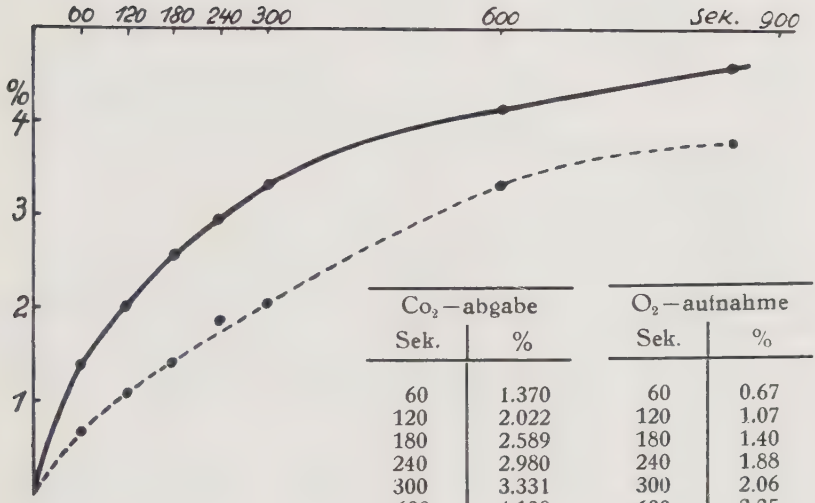


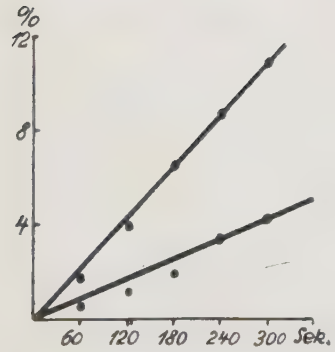
Abb. 3.



Co_2 – abgabe	
Sek.	%
60	1.370
120	2.022
180	2.589
240	2.980
300	3.331
600	4.138
900	4.637

O_2 – aufnahme	
Sek.	%
60	0.67
120	1.07
180	1.40
240	1.88
300	2.06
600	3.35
900	3.79

Abb. 4.



Co_2 $^2=c^2$	
Sek.	%
60	1.877
120	4.093
180	6.703
240	8.881
300	11.16
600	17.12

O_2 $^2=c^2$	
Sek.	%
60	0.449
120	1.144
180	1.060
240	3.534
300	4.244
600	11.22

Literaturverzeichnis.

1. Aschenbrandt: Die Bedeutung der Nase für die Atmung, Würzburg 1886.
2. Bloch: Untersuchungen zur Physiologie der Nasenatmung. Zeitschrift für Ohrenheilkunde. 1888, Bd. 18, S. 215.
3. Boje Ove: Über die Größe der Lungendiffusion des Menschen während Ruhe und körperlicher Arbeit. Arbeitsphysiologie, Zeitschrift für die Physiologie des Menschen bei Arbeit und Sport. Bd. 7, 1934. S. 157.
4. Braune und Clasen: Die Nebenhöhlen der menschlichen Nase und ihre Entwicklung für den Mechanismus des Riechens. Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte. 1876, Bd. 2, S. 1.
5. Haldane: s. Klein und Steuber (9).
6. Hellmann: Untersuchungen zur normalen und pathologischen Physiologie der Nase. Zeitschrift für Laryngologie, Rhinologie und Otologie. 1927, S. 1 und 181.
7. Kayser: Die Bedeutung der Nase und der ersten Atmungswege für die Respiration. Pflügers Archiv, 1887, Bd. 41, S. 127.
8. Kayser: Über Nasen- und Mundatmung. Pflügers Archiv, 1890, Bd. 47, S. 543.
9. Klein und Steuber: Die gasanalytische Methodik des dynamischen Stoffwechsels. Leipzig 1925, S. 63 und 74.
10. Krogh A.: On the Mechanism of Gas-Exchange in the Lungs. Skandinavisches Archiv für Physiologie. Berlin und Leipzig, Bd. 23, 1910. S. 248.
11. Krogh M.: The Diffusion of Gases through Lungs of Man. Journal of Physiology. 1915, Bd. 49, S. 271.
12. Lautenschläger: Über den Feuchtigkeitshaushalt im Naseninnern und dessen Störungen. Zeitschrift für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde. 1924, Bd. 8, S. 239.
13. Lehmann G.: Die Funktion der menschlichen Nase als Staubfilter. Arbeitsphysiologie, Zeitschrift für Physiologie des Menschen bei Arbeit und Sport. 1934, Bd. 7, S. 167.
14. Lehmann G.: Handbuch der Biochemie. Erg. Werk, Bd. 2, S. 723.
15. Leuven Gevers: Bydragen tot de aerodijnamica der Luchtwegen. Dissertat. Utrecht, 1903, zit. nach Mink (18).
16. Lindhard: Die Bestimmung der Gasdiffusionskonstanten der Lungen. Abderhalden, Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Abt. V, T. 4, 2. Hälfte, S. 1602.

17. Mink: Die Rolle des kavernösen Gewebes in der Nase. Archiv für Laryngologie und Rhinologie. 1916, Bd. 30, S. 47.
18. Mink: Physiologie der oberen Luftwege. Leipzig 1920.
19. Perwitzschky: Die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse in den Luftwegen. Archiv für Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde. 1927, Bd. 117, Nr. 44, S. 1.
20. Tabulae biologicae: Bd. 3, S. 461.
21. Zwaardemaker: Die Physiologie des Geruches. Leipzig 1895.

Lebenslauf.

Am 8. April 1910 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Andreas Hatzmann in Dortmund geboren. Von meinem 6. bis 10. Lebensjahre besuchte ich daselbst die Volksschule. Nach 6jährigem Besuche der Hindenburg - Realschule und Bestehen der Prüfung der mittleren Reife ging ich zur Oberrealschule, wo ich Ostern 1930 das Zeugnis der Reife erwarb. Dann begann ich in Münster das Studium der Medizin. Am 26. November 1935 bestand ich an der Westfälischen Wilhelms-Universität das medizinische Staatsexamen mit dem Prädikat „gut".